

# ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И СИНТЕЗА

## 1.1. Понятие и краткая характеристика систем

Прежде всего, уточним, что систем как таковых в природе не существует, а имеются лишь конкретные предметы, объекты, процессы и явления. Иначе говоря, система – это искусственно введенное понятие, служащее средством представления достаточно сложных объектов и используемое в целях их более качественного исследования и совершенствования. Отметим также, что до сих пор отсутствует общепринятое определение, как самой системы, так и некоторых ее наиболее существенных характеристик структуры, например.

Несмотря на эти, казалось бы, странности, системный подход находит все более широкое применение во всех отраслях человеческой деятельности. Следует подчеркнуть, что основоположником общей теории систем был наш соотечественник А. А. Богданов (известный из-за критики его «тектологии» В. И. Лениным), хотя официально признанными основателями ныне считаются Л. Берталанфи и У. Эшби. Кстати, многие из привнесших существенный вклад в развитие данного научного подхода были биологами и врачами, т. е. занимались решением сходных проблем, но на несколько ином, чем человеко-машинная система, уровне.

Следует согласиться, что выбор системы «человек - машина-среда» в качестве объекта исследования подтверждает необходимость использования системного подхода к анализу и синтезу. Однако прежде чем приступить к изложению сущности и иллюстрации работоспособности соответствующих методов исследования, обеспечения и совершенствования, целесообразно уточнить самые общие понятия и принципы системологии.

Естественно, что начинать нужно с определения самых существенных признаков термина «система» и с классификации ее видов. Под исследуемой здесь системой в последующем нужно понимать такую совокупность элементов, объединенных общими ресурсами, связями, функциональной средой и целью существования, которая обладает свойствами, отсутствующими у отдельных элементов. Элементами же будем считать всякие, условно неделимые и самостоятельно функционирующие части системы.

Что касается *классификации* систем (многоуровневого деления по каким-либо принципам), то следует отметить отсутствие в настоящее время не только общепринятого их разбиения по группам, но и обязательно необходимых для этого признаков классификации. Хотя в качестве последних чаще всего используются природа (генезис) классифицируемых объектов, их состав, сложность или организованность, степень взаимодействия с окружающей средой, изменчивость во времени и характер реакции на воздействия. Одна из возможных классификаций систем приведена на рис. 1.1.

По первому признаку классификации - природе (происхождение и доступность) - все системы разделены в верхней части рисунка на две группы: физические (естественные, материальные) - 1.1 и абстрактные (искусственные, идеальные) - 1.2. Подобное разбиение сделано справа и для второго признака - их состава: гомогенные системы, характеризующиеся однородностью и слабой связанностью составляющих их, внешне похожих частей (корпускул) - 2.1, и гетерогенные, образованные как бы «спаиванием» своих различных элементов - 2.2.

По степени взаимодействия с окружающей средой (обмену потоками энергии, вещества и информации) все системы могут быть разделены на открытые - 3.1, закрытые - 3.2 и изолированные - 3.3. В отличие от двух последних открытые системы обмениваются со своим окружением всеми этими формами материи; закрытые лишь информацией, а изолированные - ни одной из них.

Примерами гомогенных систем могут служить технические (2.1.1) и организационные (2.1.2) системы, а гетерогенных - человеко-машинные (эрготехнические) системы и этногеозотосистемы (от греч. *ethnos* - народ, *ge:* - земля и *ethos* - уклад жизни). Открытые системы могут быть поделены на равновесные (3.1.2) и диссипативные (3.1.1). Последние так названы потому, что они непрерывно

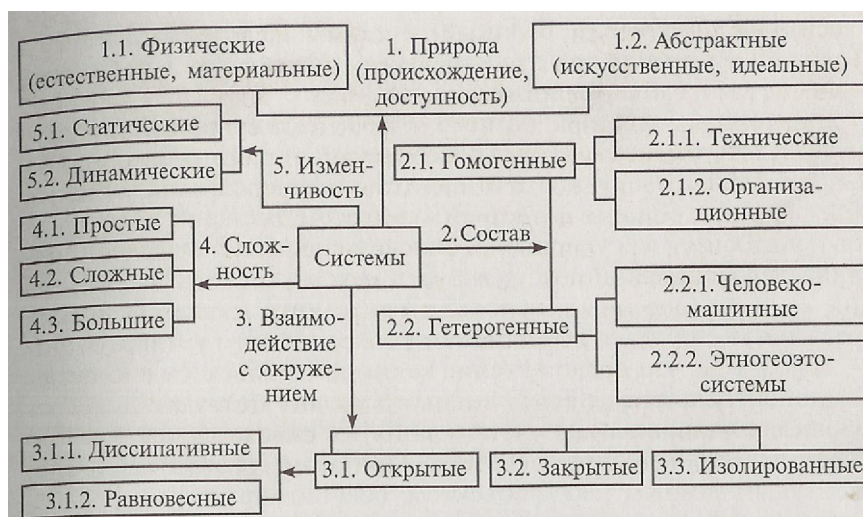


Рис. 1.1. Классификация систем

рассеивают часть своей свободной энергии, в том числе и в виде тепла, выделяемого в окружающую среду.

Что касается четвертого признака - сложности систем, то все они разделены на три группы: простые - 4.1, сложные - 4.2 и большие - 4.3. Отличительными свойствами двух последних считаются:

- а) уникальность - аналоги заметно отличаются;
- б) многоступенчатый состав - имеются иерархические подсистемы и компоненты;
- в) случайный характер функционирования и реагирования на воздействие различных факторов;
- г) многокритериальность оценки состояния - необходимость в векторных показателях качества;
- д) слабая структурированность и разнородность образующих их частей.

Это означает, что основным отличительным свойством большой системы служит размерность, не позволяющая провести ее исследование без предварительной декомпозиции (расчленения на компоненты) с последующим агрегированием (укрупнением) их элементов. Что касается существенных признаков сложной (в смысле исследования) и, конечно же, большой системы, то к ним относятся многомодельность, т. е. потребность в ансамбле соответствующих моделей и методов, да междисциплинарный характер их анализа и синтеза.

Наконец, завершающим, пятым признаком служит изменчивость системы, т. е. характер ее отклика по отношению к воздействиям различных факторов. В соответствии с ним системы обычно делятся на статические (5.1) и динамические (5.2),

а также на пассивные (детерминированные) и активные (стохастические). **Подробные разъяснения отличий между двумя последними классами систем излагаются ниже (см. разд. 1.2).**

В некоторых системах, помимо элементов, иногда целесообразно выделять их *компоненты* (подсистемы), под которыми нужно подразумевать совокупности относительно однородных элементов, объединенных общими функцией и ресурсом. Введение компонентов понадобится для упрощения описания процесса функционирования человеко-машинной системы в целом, поскольку образующие ее люди (персонал), используемая техника и окружающая их среда могут считаться подсистемами более низкого уровня.

Дело в том, что представление каких-либо объектов в качестве компонентов системы более высокого уровня позволяет в последующем ограничиваться учетом лишь их самого существенного вклада в «поглощающую» систему. При этом совокупный вклад, сделанный каждым таким объектом, обычно характеризует соответствующий компонент системы в целом, т. е. Проявляется как бы интегрально. Вот почему подобные совокупные свойства рассматриваемых объектов часто удобно называть интегральными, или системообразующими, свойствами-факторами, а их количественные оценки - *интегральными* характеристиками, т. е. соответствующими количественными показателями.

Из вышеизложенного следует, что отличительные признаки системы определяются, прежде всего, системообразующими свойствами и интегральными характеристиками их компонентов. В свою очередь, такие их свойства позволяют рассматривать каждый объект не только как целостное образование, но и одновременно как компонент системы более высокого уровня. Интегральные же характеристики удобны для сокращения числа параметров, используемых при последующем формализованном описании и оценке соответствующих свойств, как отдельных компонентов, так и системы в целом.

Более того, оказывается, что для образования любой системы важную роль играет характер взаимодействия между подсистемами, а не специфика последних и тем более не количество образующих их элементов. Вот почему, пожалуй, самой важной характеристикой системы считается ее *структура* - множество тех связей и элементов, которые играют наиболее важное значение при обеспечении энерго -, массо - и информационного обмена не только внутри самой системы, но и между нею и окружающей ее средой\*.

\* в общем виде под *структурой* подразумевается способ организации целого из частей, некий вид упорядочения его отдельных элементов и связей. К сожалению, определение данного термина не всегда «овеществляют» включением в него элементов, т. е. часто ограничиваются лишь одними связями, что не совсем правомерно.

Поскольку в данном пособии в качестве объекта системного анализа и моделирования рассматриваются процессы, происходящие с человеко-машинной системой и внутри нее, то в дальнейшем целесообразно пользоваться как структурой ее отдельных компонентов, так и обобщенной структурой этого сложного объекта. При этом под *обобщенной* структурой подразумевается некоторая генерализованная совокупность связей, с помощью которой реализуется энерго -, массо - и информационный обмен между отдельными компонентами системы, а также между нею и ее ближним окружением (рабочей средой).

Отмеченные только что особенности системного представления всех довольно сложных объектов и процессов позволяют экономно описывать их с помощью

введения еще одной важной характеристики, называемой морфологией. Под *морфологией* рассматриваемых здесь человеко-машинных систем в последующем будем понимать зафиксированную в пространстве, т. е. физически реализованную, а потому и реально наблюдаемую совокупность взаимодействующих между собой звеньев их обобщенной структуры.

Наконец, довольно существенной характеристикой любой системы служит ее *состав* - множество образующих систему элементов и компонентов. Другой, тоже важной характеристикой уже упомянутая в качестве признака системы – функциональная среда. Данное понятие определяется совокупностью тех законов, алгоритмов и параметров состояния системы, в соответствии с которыми она образуется, существует, развивается, а затем (рано или поздно) и гибнет.

Изложенные выше понятия могут быть про иллюстрированы на примерах из живой и неживой природы. В отличие от простейших гомогенных систем - того же муравейника или роя пчел - подавляющую часть отдельных биологических особей правомерно отнести к гетерогенным системам. Подобное можно сказать и о современном суперкомпьютере, компонентами которого служит большое число практически одинаковых и параллельно работающих электронно-вычислительных машин. Основными же подсистемами и элементами последних могут считаться, допустим, процессор и отдельная микросхема.

Другую, гетерогенную и чрезвычайно сложную систему представляет, конечно же, сама техносфера, а также составляющие ее человеко-машинные системы, выбранные здесь в качестве объекта системного анализа и моделирования происходящих в них процессов. Довольно сложны по своей структуре и все основные составляющие этих систем, которые в последующем также будут рассматриваться не только как их компоненты, но и как самостоятельные подсистемы. А вот персонал конкретной эрготехнической системы, образуемый примерно одинаковыми (по своим интегральным характеристикам) людьми, в первом приближении уже может рассматриваться как гомогенная система.

Интегральным же свойством одного или нескольких специалистов может служить, например, их способность заниматься мыслительной либо физической деятельностью, а соответствующими системообразующими факторами - интеллект, работоспособность, квалификация, а также технологическая оснащенность, комфортность условий труда и отдыха людей после рабочего дня.

Наконец, функциональную среду отдельного работника или всего персонала какого-либо предприятия составляют законы физиологии, психологии, социологии, энерго -, массо - и информационного обмена, действующие в условиях, имеющихся у этих систем «межклеточной жидкости» И производственной территории соответственно. А вот состав и структура этих систем будут представлены уже отдельными: а) клетками, органами и специалистами; б) коммуникациями между ними, используемыми в процессе функционирования пищевой, кровеносной, дыхательной, нервной и выделительных систем каждого человека либо - взаимодействия обобщенной структуры человеко-машинной системы с ее окружением.

Предложенное выше системное представление исследуемых здесь систем и процессов позволяет наметить в последующем моделировании целесообразные пределы их обобщения и редукции. Это означает, что какой-либо компонент рассматриваемой здесь эрготехнической системы может быть выделен как целостное

образование и что учтены только его самые важные (интегральные) свойства и обобщенная структура. При этом в ряде случаев достаточно ограничиться одним либо двумя разбиениями на подсистемы, что избавляет от подробной и трудоемкой детализации с ее не нужными частностями.

Отметим исключительную важность, которую играют в жизни систем их предназначение, которое наиболее ярко проявляется, например, для любых биологических систем - в их стремлении к самосохранению, невозможному без самовоспроизводства и самосовершенствования. Вот почему эти универсальные характеристики всех самоорганизующихся систем используются в качестве ключевых признаков при определении устойчивости, стабильности и живучести отдельных народов и национальной безопасности в целом.

## 1.2. Особенности организации и динамики систем

Еще одной характеристикой систем служит состояние, которое они занимают в каждый момент времени. Данная характеристика является неотъемлемым атрибутом функционирования любой системы и определяется всей совокупностью ее существенных свойств на данный момент их проявления.

Если говорить более строго (необходимость в таком подходе будет проиллюстрирована ниже), то под *состоянием* следует понимать такой режим функционирования системы, при котором ее интегральные показатели находятся в гомеостазисе (или гомеокинезисе\* - для внешнего наблюдателя), а обобщенная структура системы – неизменна во времени и пространстве.

\*Гомеокинезисом и гомеостазисом (гомеокинезом и гомеостатом) называют состояния, характеризующиеся неизменностью и незначительными колебаниями существенных параметров вокруг среднего значения.

При этом весь процесс функционирования или развития любой системы может быть наглядно представлен как ее перемещение по некоторой *траектории*. В свою очередь, каждая точка такой траектории должна быть интерпретирована в виде *вектора* соответствующих интегральных переменных (показателей) системы. Сама же траектория обычно принадлежит *пространству* всех ее возможных состояний, характеризующему размерностью не меньшей, чем число тех показателей, которые входят в только что обозначенный вектор.

Проиллюстрируем динамику какой-либо системы, т. е. ее изменение во времени, на примере физического цикла в существовании организма отдельного человека. В качестве его интегральных переменных и показателей используем возраст, рост и массу, измеряемые годами, сантиметрами и килограммами соответственно. Каждая пара этих параметров, включающая одну эту переменную и один показатель, будет образовывать соответствующую ось, а все оси - трехмерное пространство, начало которого соответствует нулевым значениям его координат и относится, допустим, к моменту оплодотворения яйцеклетки в чреве матери.

Тогда жизненный путь каждого человека от его зачатия до смерти может быть представлен как множество прожитых им дней в чреве матери и лет за его пределами. При этом момент рождения будет характеризоваться уже не нулевыми значениями всех трех выбранных выше показателей, а точкой или вектором, имеющим примерно такие координаты его конца: 0 лет, 50 см и 5 кг. А вот в момент смерти они могут иметь, допустим, следующие значения: 84 года, 180 см и 106 кг.

Каждый год, прожитый человеком или какой-либо человеко-машинной системой,

будет отличаться хотя бы одним из соответствующих показателей-координат, а значит, и иметь особенное положение в выбранном для примера пространстве. Линия же, соединяющая все соответствующие его точки (концы векторов), и есть «траектория жизни». Подобные перемещения конца любого вектора, иногда называемые также его годографом, для наглядности удобно проектировать на какую-либо плоскость этого пространства.

Хотелось бы также обратить внимание на два *важных* обстоятельства, учет которых обычно позволяет существенно упростить рассматриваемые здесь системный анализ и моделирование процессов в техносфере: первое связано с ограниченностью числа возможных состояний человеко-машинной системы; второе с тем, что любая такая система не может выбирать их по своему усмотрению, т. е. совершенно произвольно.

Это объясняется упомянутым выше свойством рассматриваемых здесь целеустремленных систем, заключающимся в их естественном стремлении к сохранению устойчивости, стабильности и живучести. Действительно, ведь каждому диапазону внешних для них воздействий соответствует всего лишь одно, вполне определенное состояние системы. Поскольку общий диапазон подобных неблагоприятных воздействий-возмущений, в рамках которых она может существовать как таковая, ограничен, то и общее количество ее состояний не беспредельно.

Сам же процесс функционирования (последовательной смены состояний) системы обусловлен строго определенными соотношениями между энергией внешнего возмущения и собственной энергоемкостью конкретного ее состояния. Если внешняя энергия не превышает пороговых значений, не накапливается, а уменьшается в результате частичного рассеяния или преобразования в другую энергию (как при фотосинтезе, например), то реакция системы на данное возмущение проявляется лишь в незначительном колебании своих существенных показателей либо в их эволюционном изменении (постепенном росте того же растения).

Один из наиболее *общих* механизмов сохранения системой стабильности связан с так называемым принципом Ле Шателье Брауна, в соответствии с которым любое внешнее воздействие порождает ответную реакцию самоорганизации, направленную на ослабление его эффекта. Отметим также и то, что нахождение рассматриваемых здесь систем в устойчивом или стабильном состоянии проявляется в относительной неизменности их обобщенной структуры и интегральных показателей.

Смена или утрата определенных состояний системы, обычно сопровождаемая структурной перестройкой, происходит скачкообразно и нередко связана с причинением ей некоторого *ущерба*. Это вызвано тем, что компенсационные механизмы системы уже не способны удержать ее в прежнем положении, и она утрачивает свою стабильность - по причине радикальной перестройки своей структуры и скачкообразного изменения соответствующих интегральных показателей.

Выбор же направления смены состояний осуществляется с учетом ограниченного числа альтернатив и делается это, как правило, ради сохранения системой своей устойчивости и стабильности. Если, конечно, они были предварительно нарушены в результате воздействия на нее внешних, негативных факторов или противоречивых внутренних. Чаще всего необходимость выбора альтернативного состояния возникает при выходе системы на так называемый режим функционирования «С обострением», который иногда может завершаться возникновением кризисов, катастроф и

катаклизмов

Наиболее существенными отличительными признаками трех последних понятий являются следующие. *Кризис* следует рассматривать как явление, свидетельствующее о необходимости адаптации системы к заметно изменившимся внешним или внутренним условиям. Он характеризуется сохранением ее самых важных характеристик и незначительным ущербом элементам. Однако появление кризисов следует расценивать как свидетельство необходимости некоторого обновления системы.

В отличие от кризиса возникновение *катастрофы* обычно сопровождается значительным и довольно резким изменением интегральных показателей системы вследствие преобразования и коренной перестройки ее морфологии и структуры. Еще более радикальные изменения, обычно приводящие к разрушению системы, наблюдаются при *катаклизмах*. Их появление равносильно краху, т.е. прекращению существования большинства систем.

Изложенный механизм смены состояний может быть проиллюстрирован на примере человеко-машинной системы. Ее функционирование обычно характеризуется такими возможными ситуациями, как:

гомеостазис или гомеокинезис, представляющие собой динамическое равновесие;  
разного рода возмущенные состояния, вызванные появлением в ней ошибок людей, отказов техники и неблагоприятных для них внешних воздействий;  
опасные, критические и катастрофические состояния.

Последние, как правило, связаны с возникновением происшествий, одновременно являющихся результатом нежелательного выброса энергии (вредного вещества) и следствием причинных цепей предпосылок.

Общая же модель функционирования исследуемых здесь систем может быть представлена как движение неупругого шарика по лестнице с очень широкими и чрезвычайно низкими ступеньками, которые будут предопределять его дискретные состояния. Естественно, что траектория перемещения шарика будет зависеть не только от воздействия таких внешних факторов, как сила трения и тяжести, потоки воздуха и другие шарика, находящиеся в непосредственной от него близости, но и от способности своевременного и удачного парирования таких факторов.

Логично предположить, что большую часть времени состояния шарика будут определяться ступенькам лестницы и характеризоваться соответствующими значениями вектора показателей из пространства возможных состояний. И лишь время от времени такой шарик может срываться на соседнюю ступеньку, что будет сопровождаться изменением его параметров, а иногда - и структуры. Эти срывы могут также сопровождаться, допустим, возникновением небольших трещин или малых пластических деформаций поверхности шарика.

Рассмотренный пример наглядно иллюстрирует как ограниченное число и дискретность состояний реальных систем, так и строгую предопределенность изменения их траектории в процессе своего функционирования. Столь же очевидно и то обстоятельство, что смена всех возможных состояний обычно осуществляется не только под воздействием каких - либо превалирующих в данный момент факторов, но и с учетом объективно действующих законов природы, например, объективно проявляющегося стремления энтропии системы к росту.

Этот всеобщий закон природы указывает не только на направление вероятного



течения всех процессов, но и зачастую на конечный пункт соответствующих преобразований, как бы предопределяя Положение их аттрактора (области притяжения интегральных характеристик). Вот почему нетрудно догадаться, что упомянутый выше шарик рано или поздно прекратит свое движение, либо достигнув нижней ступеньки своей лестницы (термодинамического равновесия с окружением), либо разрушившись вследствие накопленных в нем трещин и иных повреждений.

В завершение знакомства с закономерностями образования и функционирования, рассматриваемых здесь систем сформулируем ряд принципов общей теории систем и системной динамики, логично вытекающих из только что изложенного материала. Опора именно на эти и другие, приведенные ниже принципы понадобится при практическом использовании излагаемых методов системного анализа и моделирования процессов в техносфере.

К основным *принципам* общей теории или организации систем относятся следующие руководящие начала.

1. Любая система выступает как триединство цели, функции и структуры. При этом функция порождает систему, структура же интерпретирует ее функцию, а иногда и цель.

В самом деле, даже внешний вид предметов нередко свидетельствует об их предназначении. В частности, нетрудно догадаться о том, что острой частью топора нужно рубить, а тупой - забивать.

2. Система (целое) - больше, чем сумма образующих ее компонентов (частей), поскольку обладает *эмерджентным* (неаддитивным) интегральным свойством, отсутствующим у ее элементов либо не выводимым из их свойств без остатка.

Эмерджентность наиболее ярко проявляется, допустим, при получении органами чувств человека какой-либо информации из окружающей его среды. Если глазами ее воспринимается примерно 45 %, а ушами - 15 %, то вместе - не 60 %, а 85 %. Именно в результате появления нового качества люди создают малые группы и большие сообщества: семью - для рождения здоровых детей и их полноценного воспитания; бригаду - для производительной работы; политическую партию - для прихода к власти и ее удержания; государственные институты - для повышения жизнеспособности нации.

3. Система не сводится к сумме своих компонентов и элементов, а любое ее механическое расчленение на отдельные части приводит к утрате существенных свойств системы.

Действительно, расчленение человека или автомобиля на отдельные компоненты неизбежно приведет к смерти первого и невозможности самостоятельного движения - второго. Нечто похожее проявилось и в том, что СНГ не сохранило совокупного потенциала СССР, а наблюдаемые во вновь образованных государствах попытки бессистемного обеспечения частных «безопасностей» уже фактически привели к подрыву их национальной безопасности.

4. Система предопределяет природу ее частей. Появление в системе инородных частей завершается либо их перерождением или отторжением, либо гибелью самой системы.

Об этом же и такие три пословицы: а) «Каков поп, таков и приход»; б) «С кем поведешься, от того и наберешься», в) «Яблоко от яблони далеко не укатится». Отсюда вывод: не ищи, например, в дурной компании порядочного человека, а в насквозь коррумпированном правительстве - честного чиновника. И там и здесь эти люди будут



представлять угрозу, отличаясь от всех остальных, а потому от них рано или поздно либо избавятся, либо каким - то образом все равно «замажут».

5. Все компоненты и элементы системы взаимосвязаны и взаимозависимы. Воздействие на одну часть системы всегда сопровождается реакцией со стороны других.

Данное свойство систем необходимо не только для повышения их устойчивости и стабильности, но и для наиболее экономного сохранения живучести. Не секрет, что люди, допустим, с ослабленным зрением, как правило, лучше слышат, а лишённые каких-либо талантов - обладают более терпимым характером. Так же как верен и такой, безусловно, справедливый, тезис: «сила есть – ума не надо».

6. Система и ее части непознаваемы вне своего окружения, которое целесообразно делить на ближнее и дальнее. Связи внутри системы и между нею и ближним окружением всегда более существеннее всех остальных.

Этот принцип (точнее, его начало) вытекает из так называемой первой теоремы о неполноте К. Геделя. В ней утверждается (применительно к аксиоматикам) о «невозможности вывода из самой этой системы всех истинных теорем о ней». Вторая же часть данного принципа не нуждается в дополнительных комментариях в силу очевидности.

С помощью рис. 1.2 про иллюстрируем вопросы, позволяющие уточнить предметную область как уже сформулированных принципов общей теории систем, так и излагаемых ниже принципов системной динамики. На рисунке все эти вопросы разделены на две группы и пронумерованы, что обеспечивает четкую связь между поставленными вопросами и рассматриваемыми принципами и облегчает поиск ответа на каждый вопрос.

Другая группа рассматриваемых общих принципов относится уже к динамике исследуемых систем, т. е. к особенностям их изменения во времени. Она включает в себя те закономерности, которыми нужно руководствоваться в процессе изучения условий функционирования, развития и совершенствования как человеко-машинных систем, так и любых сложных объектов. К основным из таких руководящих *положений*, дающих ответ на вопросы правой части рисунка, могут быть отнесены следующие:

1. Поведение системы является следствием взаимодействия наиболее ее существенных элементов и, связей между собой и окружающей их средой.

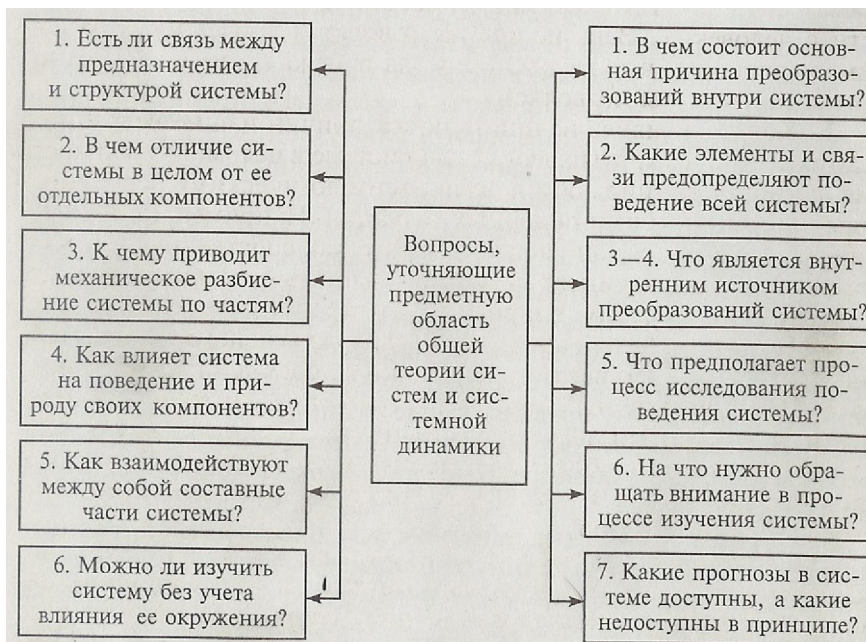


Рис. 1.2. Предметная область принципов организации и динамики систем

2. Определяющее влияние на функционирование системы оказывают те звенья ее морфологии, которые включают в себя обратные связи.

3. Состояние и обобщенная структура системы служат причиной, а не результатом происходящих в ней изменений.

4. Проблемы создаются преимущественно внутри самой системы, а не в ее окружении.

5. Изучить сложную систему - это значит установить наиболее существенные отношения между ее элементами и окружающей их средой.

6. При исследовании сложной системы важнее разобраться с ее обобщенной структурой, чем пытаться количественно оценить и спрогнозировать все существенные характеристики.

7. Цель изучения сложной системы - анализ действенности различных стратегий улучшения, а не априорная количественная оценка ее интегральных выходных характеристик.

Кратко *прокомментируем* изложенные принципы. Сделаем это последовательно, но не для каждого из них, а поделив все рассмотренные здесь руководящие положения на три неравные подгруппы. При этом группа А будет включать принципы 1- 3, группа Б - принцип 4 и группа В - принципы 5 - 7.

А. Из них следует, что поведение любой системы зависит не столько от характера каких-либо воздействий на нее, сколько от самой системы. Тем более если она соизмерима по своей сложности с человеком. Ведь не зря же говорят о последнем, что «он имеет ровно то, что заслуживает», да и «к каждому из нас относятся так, как мы позволяем».

Б. Конструктивнее начинать поиск причин наших неурядиц в самих себе, а не в других людях или системе в целом. Актуальность же данного принципа обусловлена психологическими особенностями восприятия ими подобных ситуаций. Например, когда у человека все ладится, он расценивает это как собственную заслугу, если же нет, то начинает пытаться обвинить остальных людей, а иногда и всю систему, например «эту страну».

В. Количественный анализ любых сложных систем чрезвычайно трудоемок: надо выявить не только их состав, структуру, морфологию и функциональную среду, но и

определиваться с параметрами, показателями и интегральными характеристиками, как всей системы, так и ее наиболее существенных компонентов. Более того, нет гарантии высокой достоверности полученных при этом количественных прогнозов.

В завершение обратим внимание на два важных обстоятельства. Они касаются выбранного здесь объекта (человеко-машинные системы) и предмета исследования (объективные закономерности появления и предупреждения происшествий при их функционировании), точнее, тех особенностей, которые имеют существенное значение для моделирования, системного анализа и синтеза соответствующих процессов.

Во-первых, это трудоемкость моделирования и системного исследования человеко-машинной системы. Ведь невозможно определить ее существенные свойства без выявления структуры, а также оценить важность системообразующих компонентов без учета их интегральных свойств и взаимодействующих обратных связей.

Во-вторых, это невозможность точного прогноза интегральных показателей столь сложной системы, не говоря уже о траектории их изменения. Вот почему основное внимание в моделировании процессов в техносфере следует уделять уяснению тех внутренних закономерностей и «узких» мест каждой конкретной человеко-машинной системы, воздействие на которые окажется наиболее результативным.

На эти принципиальные особенности впервые указал основатель теории нечетких множеств и теории возможностей Л. Заде. В частности, для названных им «гуманистических» (включающих людей) систем он сформулировал так называемый принцип несовместимости, сущность которого примерно такова. Чем сложнее система, тем менее правдоподобны точные количественные предсказания ее будущего поведения; если же сложность системы превосходит некоторый пороговый уровень, то точность количественного прогноза и практический смысл становятся почти исключаящими друг друга характеристиками.

Подтверждением же воплощения принципа несовместимости применительно к сложным системам служит, в частности, отказ метеорологов от выдачи достоверных прогнозов погоды. В настоящее время они рассуждают примерно так: «Вообще-то точный прогноз на завтра дать можно, но для этого потребуется не менее недели непрерывных вычислений на ЭВМ». А вот предсказывать погоду на два месяца вперед они и не пытаются, поскольку это невозможно. Дело в том, что существует так называемый горизонт прогноза: чем глубже анализируется проблема, тем неопределеннее становится ее решение.

### **1.3. Обобщенная структура системного анализа и синтеза**

Краткое знакомство с основными положениями общей теории систем и системной динамики позволяет обосновать выбор тех основных моделей и методов, которыми следует пользоваться не только при системном анализе интересующих нас (наиболее опасных) процессов в техносфере, но и в ходе синтеза системы обеспечения их безопасности. Дело в том, что к этому нас подготовил накопленный к настоящему времени опыт научных исследований приведенные ниже обобщенные принципы применения системного подхода к рассматриваемым здесь проблемам.

1. При интерпретации объекта как системы каждый элемент следует описывать не как таковой, а с учетом его места в системе.

2. Исследование системы необходимо проводить неотделимо от исследования окружающей ее среды.

3. Центральным моментом системного исследования должно быть изучение порождения свойств целого из свойств элементов и наоборот.

4. В системном исследовании следует стремиться устанавливать не только чисто причинные объяснения функционирования и развития объекта, но и их целесообразность.

5. Источник преобразований системы следует искать в ней самой; нередко он связан с ее самоорганизацией и самонастройкой.

6. Необходимыми частями системного исследования нужно считать выявление целостности объекта, изучение его внутренних и внешних связей, структуры и функций, определение системообразующих факторов, интегральных свойств и показателей.

Наиболее полно предъявленным требованиям удовлетворяет системно-целевой подход, названный «*system engineering*» одним из уже упомянутых основателей общей теории систем Л. Берталанфи.

\* Корректный перевод этого (и «*safety engineering*») термина - «системная инженерия» и «инженерия (а HF техника) безопасности». Его и будем придерживаться в последующем, тем более что есть точные переводы и других подобных словосочетаний, например «*генная инженерия*».

Такой подход базируется на основополагающих принципах общей теории систем и системной динамики, а также всеобщей теории управления (кибернетики) и теории самоорганизации и эволюции сложных систем (синергетики). Однако его сущность связана преимущественно с системным анализом и системным синтезом, широко используемыми при исследовании и совершенствовании больших и/или сложных систем, в том числе при разработке и реализации в техносфере крупных научно-технических проектов.

Учитывая отсутствие в настоящее время общепринятого толкования только что упомянутых категорий системного исследования, остановимся на уяснении их содержания подробнее. Начнем с того, что подчеркнем неразрывную связь и органическое единство системного анализа и системного синтеза как двух частей познания и преобразования мира.

В самом деле, изучая какой-либо сложный объект, мы его вначале нередко расчлняем, выделяя и рассматривая отдельные части, т. е. анализируем, а затем устанавливаем связи между зафиксированными сторонами этого объекта, т. е. синтезируем его интегральные свойства. Другими словами, если анализ делает известными отдельные признаки сложного объекта как целостного образования и свойства его частей как самостоятельных предметов, то их синтез уже систематизирует представления, добытые в результате анализа. При этом именно анализ выделяет и рассматривает те отличительные признаки и отношения между компонентами объекта, в силу которых они могут считаться частью какого то целостного образования, и которые, следовательно, являются существенными для синтеза.

Вот почему системный анализ полезен с точки зрения его способности выделять и рассматривать отличительные свойства, делающие их частью конкретной совокупности предметов, а системный синтез, в свою очередь, - для выделения этой совокупности как взаимодействующих компонентов некоторого целостного образования. Не зря же эти категории системного исследования объектов иногда правомерно соотносить с понятиями «часть» и «целое», уже упомянутыми при формулировании принципов общей теории систем.

Таким образом, под *системным анализом* здесь будет подразумеваться одно из

направлений системного подхода к изучению больших и/или сложных систем, предполагающее мысленное расчленение сложного объекта (целого) для выявления его наиболее существенных частей - компонентов и свойств. Системным же *синтезом* следует считать второе направление системного подхода, концентрирующее внимание на органическом соединении различных частей рассматриваемого сложного объекта в единое, целостное образование, уже обладающее качественно новыми свойствами, включая и способность к самоорганизации путем усложнения и дифференциации.

Еще раз подчеркнем - только методология системного анализа и системного синтеза, а не механическое расчленение (редукционизм) и соединение каких-либо компонентов, влечет за собой проявление рассмотренных ранее принципов системности.

Необходимыми же для такого анализа и синтеза условиями следует считать: а) практическую потребность либо теоретическую целесообразность; б) разнородность взаимодействующих компонентов и/или дифференцированность окружающей их среды, способствующие их диссимилиации, а затем и ассимиляции в качественно новое и более сложное образование\*.

\* Под теоретической целесообразностью понимается необходимость учета многообразия тех фактов, которые фиксируют взаимообусловленность элементов некоторой общности, внешне кажущихся расчлененными, а под дифференцированностью среды - наличие в ней и разнородных автономных фрагментов, не относящихся к одному целому [Дмитриева Е. К. Синтез: понятие, структура, функции. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2001. - С. 9.]

Иначе говоря, системный анализ и системный синтез – это такая форма исследования какого-либо целого и его частей, которая направлена на выявление в них совокупности системообразующих компонентов или свойств и устойчивых связей, необходимых для образования уже качественно нового объекта. При этом такие компоненты, свойства и связи должны быть стабильными, т. е. сохраняться при внешних и внутренних возмущениях.

С онтологической точки зрения результаты системного анализа и системного синтеза могут рассматриваться как органическая совокупность элементов или их свойств, находящихся в отношениях реальной взаимосвязанности и временно видоизмененных. Именно такой подход, акцентирующий внимание соответственно на декомпозиции или искусственном расчленении сложных объектов на составные части, а затем на образовании или конструировании из этих частей нового целого, и будет использоваться в последующем.

Последнее утверждение позволит далее ограничиться лишь познавательной и моделирующей функциями системного анализа и системного синтеза сложных процессов в техносфере. Для определения эвристической ценности представляется достаточным охарактеризовать эти два этапа как движение к новым знаниям. А вот моделирующая функция должна проявляться в таких отношениях между существующими и конструируемыми объектами, которые будут сопровождаться появлением нового качества.

При этом моделирование путем системного анализа и синтеза или наоборот - системный анализ и синтез на основе моделирования дадут такую возможность конструирования сложных объектов, которая детерминирована конкретным целеполаганием и ожидаемыми результатами, а также их пригодностью к практическому использованию. Ярким примером подобного отношения к применению системного подхода в прогнозировании может служить зарождение новой области научного знания - глобального моделирования.

В данном случае имеются в виду модели, разработанные членами Римского клуба, а также акад. Н. Н. Моисеевым и К. Саганом, и описывающие состояние биосферы Земли в зависимости от тенденций развития цивилизации и массового применения ядерного оружия. Разработка таких моделей стала возможной благодаря системному анализу происходящих в ней процессов. А вот системный синтез различных научных школ позволил не только выявить пагубные для человечества перспективы, но и предложить пути решения соответствующих глобальных проблем.

Сделанные выше пояснения позволяют дать следующее рабочее определение выбранному здесь научному методу. *Системная инженерия* - это междисциплинарный подход, в котором гармонично используются методы системного анализа и системного синтеза с целью выявления объективных закономерностей функционирования сложных объектов, а также учета их самых существенных факторов при последующем обосновании тех рекомендаций, реализация которых может способствовать повышению качества этих объектов.

Общая методология исследования и совершенствования больших и сложных систем методами системной инженерии базируется на их рассмотрении по таким аспектам:

- а) системно-элементный, качественно и количественно характеризующий состав системы;
- б) системно-структурный, концентрирующий внимание на способах связи и организации взаимодействия ее элементов;
- в) системно-функциональный, учитывающий задачи основных компонентов системы;
- г) системно-коммуникативный, рассматривающий ее вертикальные и горизонтальные связи с другими объектами;
- д) системно-интегративный, определяющий факторы самосохранения и самосовершенствования сложной системы;
- е) системно-исторический, выявляющий условия ее возникновения, развития и гибели.

Реализованное подобным образом представление исследуемого сложного объекта позволяет добиться успеха не только при его системном анализе, но и в процессе последующего системного синтеза. И если анализ непосредственно связан с моделированием, то синтез осуществляется уже путем поиска тех решений (эвристически или решением задач нахождения экстремума), которые могут быть положены в основу проектирования новой или улучшенной системы. Последовательно и кратко *охарактеризуем* самые основные шаги обобщенной процедуры практической реализации системной инженерии, на примере каждого из только что перечисленных этапов этого общенаучного метода познания и преобразования действительности.

Естественно, что начать это рассмотрение целесообразно с уяснения особенностей системного анализа и моделирования сложных объектов. Важность первого этапа связана с тем, что их практическое применение в системном исследовании интересующих нас процессов в техносфере позволит в последующем обеспечить удовлетворение таких важных требований, как: а) поиск ответа не только на традиционные вопросы типа «зачем», «почему», «как», но и «в какой очередности» они происходят; б) учет не всех (что и не нужно в принципе), а лишь наиболее существенных их факторов; в) возможность выявления основных закономерностей и прогнозирования соответствующих параметров с помощью моделей.

Уместность и конструктивность выбора моделирования в качестве основного аппарата системного анализа (да и системного синтеза тоже) рассматриваемых здесь сложных объектов и процессов обусловлены (в сравнении с альтернативными исследовательскими инструментариями - статистическим и экспериментальным) по меньшей мере, такими тремя аргументами:

а) *статистический* подход требует отлаженной системы сбора и обработки Конкретной информации, а также малоэффективен в тех случаях, когда отсутствуют данные, необходимые для оценки эффективности принципиально новых проектов, и затруднителен из-за невозможности учета всего опыта, накопленного в других сложных системах, - по причине их существенного различия;

б) *экспериментальный* же подход не обеспечивает требуемой оперативности выявления интересующих исследователя закономерностей и требует больших затрат на проведение натурных испытаний; хуже того, он не может быть использован для опасных технологических процессов, поскольку это связано с угрозой здоровью людей, крупным ущербом материальным и природным ресурсам;

в) моделирование лишено части перечисленных недостатков, хотя и требует определенного времени - для подготовки высококвалифицированных специалистов, разработки моделей интересующих их процессов, а затем и для качественного и количественного анализа этих моделей.

Как показывает опыт исследования сложных систем, использование моделирования для системного анализа процессов в техносфере может оказаться вполне оправданным и плодотворным. В то же время не отрицается и применение статистического анализа и непосредственного экспериментирования, поскольку они могут использоваться как средство получения и обработки исходных данных, необходимых для моделирования либо проверки достоверности полученных с его помощью результатов.

Основная же особенность моделирования процесса функционирования конкретной системы и любого другого сложного объекта состоит в необходимости их одновременного представления сразу в трех подпространствах:

*входы* - множество воздействий на объект со стороны внешней среды;

*состояния* - совокупность его внутренних свойств, определяющих (совместно со входами) выходные реакции объекта;

*выходы* - множество возможных откликов моделируемого объекта. Соответствующие параметры всех этих пространств в общем случае считаются факторами, изменяющимися во времени.

Естественно, что формализованное представление моделируемых таким образом категорий (объектов, явлений и процессов) предполагает их интерпретацию в виде систем. Текущее же состояние конкретной системы должно представляться векторами в каждом из только что перечисленных пространств, а процесс ее функционирования - движением конца результирующего вектора по некоторой траектории. Эту траекторию лучше всего представлять в виде совокупности уже упомянутых выше годографов.

Вторым (после системного анализа) обобщенным этапом исследования и совершенствования сложных объектов с помощью инструментария системной инженерии является системный синтез. Считается, что процедура его практического использования основывается на обосновании и реализации оптимальных (наилучших в некотором смысле) или рациональных решений, а основными подходами по их отысканию служат эвристический поиск и нахождение экстремума методами



математического анализа или математического программирования. Кратко охарактеризуем особенности и области применения каждого из этих двух подходов.

С определенной условностью, все *эвристические* приемы поиска искомого решения могут быть разделены на интуитивные, дедуктивные и индуктивные. Принципиальным отличием приемов первого типа является то, что полученные с их помощью результаты не всегда подлежат обоснованию в том смысле, как это принято в формальной логике, а потому и не могут быть воспроизведены или объективно проверены другими лицами. Напротив, два других способа принятия решений тесно связаны с соответствующими логическими методами построения умозаключений. В частности, *дедуктивный* метод использует в качестве исходных посылок общепринятые закономерности, а следствий - их проявление в конкретных условиях. *Индуктивный* же метод базируется на полном или упорядоченном переборе всех тех вариантов искомого решения, которые не противоречат объективно действующим законам природы.

Если же провести инвентаризацию известных ныне эвристических приемов, то оказывается, что их чуть ли не дюжина. В самом деле, это аналогия и имитация, призванные пополнить недостающую информацию; адаптация и повышение разнообразия во имя повышения живучести проектируемого объекта; агрегирование, детерминация, декомпозиция, линеаризация и унификация - для упрощения исследуемой ситуации; ранжирование и оптимизация, направленные на компенсацию какой-либо неопределенности, и т. п.

Что касается методики поиска *экстремальных* (наименьших и наибольших) количественных результатов решения оптимизационных задач, то она довольно подробно описана в соответствующих учебниках по высшей математике (математический анализ) и ее прикладным разделам (линейное, нелинейное и другие виды математического программирования). Естественно, что здесь не имеет смысла воспроизводить эту методику полностью, хотя некоторые ее моменты и будут изложены ниже - перед решением конкретных задач.

В целом же обобщенная процедура совместного применения методов системного анализа и синтеза сложных объектов может быть представлена так, как это сделано, например, на рис. 1.3.

Подчеркнем совпадение структуры (см. рис. 1.3) с известной формулой трехэтажного познания и преобразования действительности: «от живого созерцания - к абстрактному мышлению - и от них к практике». Однако эта диаграмма более содержательна, так как включает в себе элементы так называемой гибкой системной методологии. Именно такая методология может оказаться конструктивной для системного анализа и системного синтеза тех рассматриваемых ниже человеко-машинных систем и процессов в техносфере, которые относятся к классу плохо структурируемых.

Обратим внимание на ряд дополнительных *трудностей*, сопутствующих системному анализу и системному синтезу процессов и явлений в таких сложных объектах, как рассматриваемые человеко-машинные системы, не говоря уже о техносфере в целом.

1. Во-первых, это большое число факторов, реально влияющих на человеко-машинную систему. С некоторым преувеличением можно утверждать, что на процесс ее функционирования влияет буквально все или почти все. Действительно, ведь то, что влияет на человека, машину и окружающую их среду, влияет также и на совокупные

свойства всей этой системы.

2. Во-вторых, это дефицит или низкое качество имеющейся ныне информации, что делает ее зачастую непригодной для моделирования. Указанные причины обусловлены дефицитом моделей, позволяющих сформулировать требования к составу и параметрам оперируемых ими исходных данных. Если же нет спроса, то нет и целенаправленной работы по накоплению подобной информации.

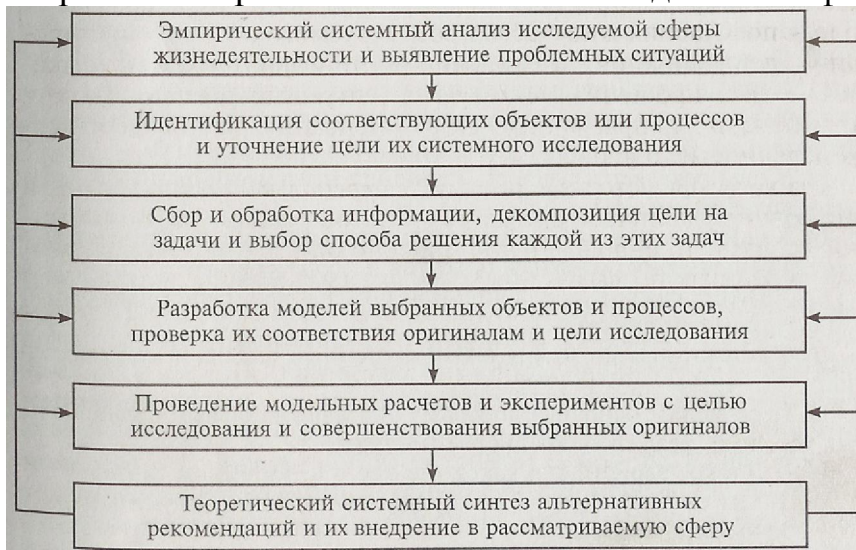


Рис. 1.3. Основные этапы системного анализа и системного синтеза

3. Наконец, это «букет» неопределенностей, затрудняющих моделирование и принятие решений, основанных на его результатах. Речь идет о таких видах неопределенности, как: а) объективная, связанная со случайностью процессов в рассматриваемых здесь сложных объектах; б) стратегическая, порожденная непредсказуемостью действий других подобных систем; в) гносеологическая, связанная с нечеткостью представления учитываемых факторов.

Однако перечисленные особенности выбранного здесь объекта, предмета и метода исследования не должны истолковываться как препятствие на пути к моделированию рассматриваемых процессов. Скорее, наоборот: осознание и своевременный учет подобной специфики сделают предложенные здесь модели и методы более корректными, а значит, и абсолютно необходимыми для всестороннего исследования и совершенствования исследуемых здесь сложных процессов в техносфере.

### Контрольные вопросы

1. Что такое система и из чего она состоит?
2. Существуют ли в природе системы как таковые?
3. Что называют структурой и морфологией системы?
4. Какие основные признаки используются для классификации систем?
5. Приведите пример закрытой и изолированной системы?
6. В чем состоят принципиальные отличия между сложными и простыми системами?
7. Какой (гомогенной или гетерогенной) системой является фабрика?
8. Почему система может находиться в сравнительно небольшом числе состояний?
9. Можно ли по внешнему виду судить о предназначении системы?
10. Почему люди объединяются в малые и большие группы?

11. Какое содержание имеет термин «эмерджентность»?
12. Какие выводы следует сделать из принципа, утверждающего о том, что причиной большинства проблем является сама система?
13. В чем проявляется сущность «принципа несовместимости» для сложных и больших систем?
14. Как называется выбранный здесь метод системного исследования и совершенствования сложных объектов и процессов?
15. Укажите связи между системной инженерией, системным анализом и системным синтезом?
16. Как соотносятся между собой системный анализ и моделирование?
17. Перечислите основные способы поиска оптимальных и рациональных решений, реализующих системный синтез?
18. Что такое эвристика и каково ее место в системном синтезе?
19. В чем состоит отличие между эвристическими, дедуктивными и индуктивными решениями?
20. Что означает «гибкая системная методология» и какова ее связь с известной формулой познания и преобразования действительности?